

Wybrane parametry materiałów wybuchowych typu heavy-ANFO

Selected parameters of heavy-ANFO explosive materials

Zuzanna Cetner, Andrzej Maranda*

Wojskowa Akademia Techniczna, ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, PL

* E-mail: amaranda@wat.edu.pl

Streszczenie: Materiały wybuchowe emulsyjne oraz kompozycje wybuchowe typu ANFO (saletrole) są aktualnie najczęściej stosowanymi środkami strzałowymi w polskim przemyśle wydobywczym. Również w coraz większym stopniu są stosowane ich mieszaniny. W zależności od wytrzymałości górotworu oraz stopnia zawodnienia wykorzystuje się mieszaniny heavy-ANFO o zróżnicowanej zawartości składników. W pracy przedstawiono wybrane właściwości tego typu wybuchowych mieszanin.

Abstract: The emulsion explosives and ANFO type explosive compositions are currently the most commonly used blasting agents in the polish extractive industry. Likewise mixtures thereof are used increasingly. Depending on the strength of the rock mass and the degree of hydration heavy-ANFO mixtures with various content of components are being used. This paper presents several properties of this type of explosives.

Słowa kluczowe: heavy-ANFO, saletrole, materiały wybuchowe emulsyjne, parametry detonacyjne

Keywords: heavy-ANFO, ANFO, emulsion explosives, detonation parameters

1. Wstęp

Materiałom wybuchowym (MW) stosowanym w górnictwie (MWG) są stawiane wysokie wymagania pod kątem efektywności urabiania górotworu oraz, przede wszystkim, bezpieczeństwa produkcji, transportu i stosowania. Używany przed wiekami proch czarny, a w późniejszych czasach dynamit na bazie nitrogliceryny, zdecydowanie nie spełniały tych wymagań. Dlatego ciągle szukano nowych rozwiązań.

Prawdziwa rewolucja w dziedzinie MWG nastąpiła w roku 1943. Wtedy to firma Consolidated Mining and Smelting Corporation opracowała metody otrzymywania saletry amonowej porowatej. Następnie, w roku 1955, firma Cleveland-Cliff Company przeprowadziła odstrzały przemysłowe w kopalniach rud żelaza w Michigan i Masabi z użyciem saletrolu (mieszaniny saletry amonowej i oleju), określanych nazwą ANFO (ang. *Ammonium Nitrate-Fuel Oil*). Pierwsze próby mechanicznego załadunku ANFO zostały zrealizowane w roku 1958 przez Ore Company of Canada i Canadian Industrial Limited, a na ich podstawie od roku 1960 w USA zaczęto stosować pneumatyczny załadunek saletrolami otworów strzałowych [1].

Niewątpliwą wadą MW typu ANFO, oprócz niskich parametrów detonacyjnych, jest ich całkowity brak wodoodporności. Doprowadziło to do dalszych poszukiwań nowych typów MW, które mogłyby być stosowane w górnictwie. W roku 1960 pojawiła się propozycja zawieszinowych materiałów wybuchowych [2], które miały szansę na podbój rynku, jednak w roku 1964 ukazał się patent dotyczący MW emulsyjnych (MWE) [3]. Zaproponowano w nim emulsję typu O/W, w której fazą ciągłą jest woda, a fazą rozproszoną olej. Już 5 lat później, w roku 1969, pojawił się kolejny rewolucyjny patent, który opisywał MWE typu W/O (emulsja, w której fazą ciągłą jest olej, a rozproszoną wodą) [4]. Gdyby nie ich wysoka cena, uwarunkowana skomplikowanym procesem produkcji matryc, byłyby MW idealnym do celów przemysłowych: stosunkowo wysokie parametry detonacyjne połączone z bezpieczeństwem użytkowania. Jednak i tutaj znaleziono wyjście z sytuacji. W roku 1978 pojawił się pierwszy patent, w którym Clay proponuje stosować mieszaninę MWE z saletrą amonową granulowaną lub saletrolem (heavy-ANFO) [5]. Heavy-ANFO łączy w sobie zalety swoich komponentów, mianowicie stosunkowo niską cenę i zadowalające parametry detonacyjne i użytkowe. Zawartość wymienionych składników jest dostosowywana do warunków, w jakich prowadzone są prace strzałowe - stopień zawodnienia

otworów, właściwości mechaniczne górotworu.

Mimo faktu, że heavy-ANFO jest popularnym środkiem strzałowym stosowanym od kilkudziesięciu lat, naukowe bazy danych nie obfitują w prace skupiające się na ich właściwościach. Ze względów komercyjnych większość informacji kryje się w zastrzeżonych przez producentów recepturach i technologiach. W niniejszej pracy zebrano i usystematyzowano podstawową, dostępną dla autorów wiedzę na temat heavy-ANFO.

2. Składniki heavy-ANFO

W górnictwie stosowane są zazwyczaj wieloskładnikowe mieszaniny, w których dominującą rolę odgrywają utleniające i składniki palne. Podstawowymi komponentami mieszanin heavy-ANFO są:

- granulowana saletra amonowa (AN) z olejem napędowym (FO),
- matryca MWE lub MWE.

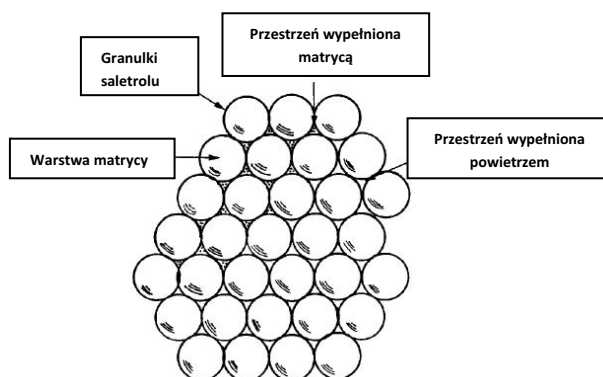
Zarówno ANFO jak i MWE znane i stosowane są od dziesięcioleci. Aktualnie są najczęściej stosowanym górnictwem środkiem strzałowym. Na przykład w roku 2011, w którym było maksymalne na przestrzeni ostatnich lat zużycie materiałów wybuchowych (43019,6 tys. kg), stanowiły one 83,2% całego asortymentu GMW. Można znaleźć na ich temat obszernie opracowania zarówno w postaci monografii [1, 6-8], artykułów naukowych lub literatury patentowej [4, 9-18]. W tabeli 1 zebrano najważniejsze informacje dotyczące ANFO oraz MWE. Należy mieć na uwadze, że dane podane w tabeli 1 mają jedynie charakter poglądowy i są uśrednione, na wielkość parametrów detonacyjnych ma wpływ wiele czynników, takich jak: postać i jakość saletry amonowej [19], stopień homogenizacji emulsji, lepkość stosowanego oleju, rodzaj i ilość dodatków [10, 20, 21], otoczka ładunku [22, 23]. Doniesienia literaturowe podają także ekstremalne wartości parametrów detonacyjnych. Średnica krytyczna MWE może wynosić nawet poniżej 6 mm, a prędkość detonacji ANFO, w warunkach eksperymentalnych osiągać może 5500 m·s⁻¹ przy gęstości 0,88 g·cm⁻³ [24].

Tab. 1. Porównanie niektórych właściwości MW typu ANFO oraz MWE [6]

Parametr	ANFO	MWE
Średnica krytyczna [mm]:	50 ÷ 80	16 ÷ 46
Gęstość ładowania [g·cm ⁻³]:	0,75 ÷ 0,85	0,90 ÷ 1,20
Prędkość detonacji[m·s ⁻¹]:	1800 ÷ 3300	3800 ÷ 5100
Model detonacji	nieidealna	idealna (jeżeli nie zawiera składników stałych)
Zdolność do detonacji	zapalnik + pobudzacz	zapalnik
Wodoodporność	nie	tak
Składniki	saletra amonowa, olej (1 ÷ 10)%	utleniające, paliwa organiczne, paliwa nieorganiczne, woda, emulgatory, środki uczulające, modyfikatory
Technologia produkcji	prosta	skomplikowana
Możliwość mechanizacji ładunku	tak	tak
Cena	niska	wysoka

3. Właściwości fizyczne heavy-ANFO

W mieszaninie saletra amonowa-olej ok. 50% całej objętości stanowi powietrze, z czego szacunkowo 30% znajduje się w porach granul saletry amonowej. Jest to korzystne z punktu widzenia wrażliwości ANFO i tworzenia się gorących punktów. Pozostałe 70% powietrza znajduje się pomiędzy granulami, co jest energetycznym marnotrawieniem objętości otworu strzałowego. W przypadku heavy-ANFO przestrzeń ta jest prawie całkowicie wypełniona matrycą lub MWE (rys. 1) o wysokiej gęstości, wodoodpornym, co znacznie poprawia parametry detonacyjne i użytkowe mieszaniny, przy niewielkim nakładzie kosztów w porównaniu do samego ANFO.



Rys. 1. Struktura heavy-ANFO [25]

Zmiana zawartości matrycy (MWE) w mieszaninie heavy-ANFO jest prostym i nieskomplikowanym z technologicznego punktu widzenia sposobem na dostosowanie wymaganych właściwości heavy-ANFO do warunków istniejących w miejscu przeznaczenia. Operacja ta pozwala na regulowanie m.in. wodoodporności i gęstości mieszaniny (tabela 2).

Tab. 2. Wpływ zawartości emulsji na fizyczne właściwości heavy-ANFO [25]

Zawartość emulsji [%]	Gęstość [g cm ⁻³]	Względna „siła” na jednostkę objętości	Kohezyjność* (cohesiveness)	Wodoodporność**
0	0,84	100	0	0
10	0,93	100	0	0
20	1,04	125	1	1
30	1,15	125	2	2
40	1,28	150	3	3
45	1,35	175	3	4
50	1,40	200	5	5

* 0 - materiał sypki, 5 - materiał bardzo zwarty

** 0 - brak wodoodporności, 5 - całkowita wodoodporność

Dotądki hydrofobizujące proponowane jako modyfikatory podwyższające wodoodporność saletroli to np.: guma guarowa, pochodne poligalaktomannozy [26], karboksymetyloceluloza i inne polimery. Substancję tę pęcznią w kontakcie z wodą tworząc tym samym szczelną otoczkę MW chroniącą przez zawilgoceniem. Z powodzeniem mogą być również stosowane w przypadku heavy-ANFO. Jest to korzystne ze względów ekonomicznych, gdyż ich niewielka ilość w mieszaninie, zazwyczaj (1 ÷ 3)%, pozwala na zmniejszenie zawartości emulsji w heavy-ANFO nawet do 10 %, zachowując przy tym wodoodporność ładunku [27, 28]. Wiele przykładów substancji hydrofobowych podano w patencie [17]. Innymi sposobami zabezpieczania środków strzałowych przed kontaktem z wodą jest pakowanie ich w polietylenowe worki lub odwadnianie otworów strzałowych. Niewątpliwym problemem związanym z użytkowaniem heavy-ANFO w otworach strzałowych jest wzrost gęstości materiału wraz ze wzrostem głębokości otworu. Niestety, wraz ze wzrostem gęstości obniża się wrażliwość heavy-ANFO na zainicjowanie wybuchowej reakcji. W konsekwencji może to prowadzić do niesymetrycznej detonacji, a nawet jej zaniku. W odpowiedzi na ten problem powstało wiele rozwiązań proponujących stosowanie substancji wypełniających pochodzących z odpadów rolniczych, np. łuski z ziaren ryżu [16] lub ekspandowane ziarna [29]. Inną propozycją jest zastąpienie części, bądź nawet całego oleju w heavy-ANFO polistyrenem. Stosowanie tych dodatków wpływa co prawda korzystnie na zmianę gęstości, obniża jednak w znacznym stopniu parametry detonacyjne jak i wrażliwość na pobudzenie do detonacji materiału.

Obecnie najbardziej rozpowszechnione metody obniżania gęstości heavy-ANFO przy jednoczesnym wzroście wrażliwości to stosowanie mikrobalonów szklanych bądź polimerowych, perlitu a szczególnie nagazowywania chemicznego.

4. Właściwości wybuchowe i użytkowe mieszanin heavy-ANFO

Detonacja emulsyjnych MW z bardzo drobną strukturą matrycy umożliwiającą subtelny kontakt paliwa i utleniacza jest zbliżona do idealnej jej formy, zwłaszcza dla MWE o dużej gęstości. W przypadku heavy-ANFO emulsja wypełnia przestrzeń pomiędzy granulkami ANFO co pozwala na bardziej szczelne wypełnienie otworu strzałowego. Zastosowanie materiału o wysokiej gęstości umożliwia pełniejsze wykorzystanie objętości otworu strzałowego. Porównanie właściwości poszczególnych typów MWG zestawiono w tabelach 3 i 4.

Tabela 3. Ilość energii wydzielanej ze środków strzałowych (kcal/metr otworu strzałowego) [25]

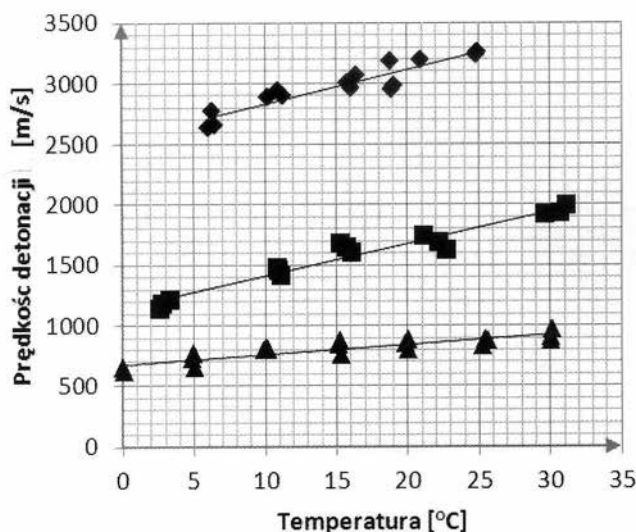
Średnica otworu strzałowego [mm]	ANFO luzem	ANFO nabojuwane	Heavy-ANFO 25 % ANFO 75 % emulsji nabojuwane	Heavy-ANFO 50 % ANFO 50 % emulsji luzem	Heavy-ANFO 75 % ANFO 25 % emulsji luzem
165	1467	1136	1479	2055	1788
224	2812	2114	2735	3939	3432
311	5209	3758	4862	7295	6358

Tabela 4. Porównanie właściwości wybranych środków strzałowych [25]

MW	Gęstość [g cm ⁻³]	Względna „siła” na jednostkę masy [% ANFO]	Względna „siła” na jednostkę objętości [% ANFO]	Prędkość detonacji [ms ⁻¹]	Wodoodporność
ANFO	0,80	100	100	4700	brak
MW zawieszinowe	1,00 ÷ 1,20	80 ÷ 100	110 ÷ 135	4500 ÷ 5000	całkowita
MW emulsyjne	1,15 ÷ 1,25	100 ÷ 120	135 ÷ 170	5000 ÷ 5500	całkowita
Heavy-ANFO	1,00 ÷ 1,30	100 ÷ 120	135 ÷ 170	4500 ÷ 5500	uzależniona od zawartości emulsji

Prace strzałowe prowadzone są na całym świecie, zarówno w rejonach o klimacie umiarkowanym, jak i w rejonach o klimacie tropikalnym. Mając na uwadze parametry użytkowe stosowanych do tych prac środków strzałowych należy sprawdzić zakres temperatur, w którym mogą być bezpiecznie użytkowane. Temperatura użytkowania heavy-ANFO zawiera się w granicach -20 °C do 50 °C [18]. Przekroczenie tego zakresu może skutkować zmianą wrażliwości na czynniki mechaniczne stosowanych materiałów, a tym samym obniżenie bezpieczeństwa stosowania [30].

W pracy [31] zbadano wpływ temperatury na prędkość detonacji ładunków saletroli o zawartości 5,5% oleju i gęstości 0,832 g cm⁻³. Badania przeprowadzono na ładunkach umieszczonych w stalowych rurach o średnicach wewnętrznych 52 mm lub 23,5 mm. Detonację inicjowano za pomocą zapalnika lub zapalnika i pobudzacza o nazwie handlowej APG 20 „Mini Booster”. Pomiarów prowadzono w zakresie temperatur (0 ÷ 30) °C (rys. 2).



Rys. 2. Zależność prędkości detonacji od temperatury ładunków saletroli: \blacklozenge – średnica ładunku 52 mm, pobudzaczy; \blacksquare – średnica ładunku 52 mm, zapalnik; \blacktriangle – średnica ładunku 23,5 mm, zapalnik [31]

Powyższe wyniki świadczą jednoznacznie o dość znaczącym wpływie temperatury na prędkość detonacji. Wraz ze zmniejszaniem temperatury następuje spadek wielkości tego parametru. Prowadzić to może do dużych strat energii powodujących obniżoną urabialność górotworu. Analogiczna sytuacja może wystąpić w przypadku heavy-ANFO, których podstawowym składnikiem są saletrole.

Wrażliwość MWE na bodźce mechaniczne jest głównie uzależniona od sposobu sensybilizacji matryc MWE. Jednak można ogólnie stwierdzić, że należą one do grupy najmniej wrażliwych MWG. Te cechy są jednymi z podstawowych zalet MWE, ponieważ umożliwiają mechanizację prac strzałowych, a konkretnie procesu załadunku otworu strzałowego. Determinuje to również wysoki stopień bezpieczeństwa procesu ich wytwarzania, transportu i stosowania w zakładach wydobywczych.

Do otrzymywania i załadunku heavy-ANFO może być stosowany system mieszalniczo-załadowczy UMS 2000 (ang. *Universal Mixing System*). Jednostka mieszająca zawiera trzy systemy do produkcji MWE z gotowych matryc, do produkcji MWE z półproduktów oraz do produkcji ANFO. Produkty można wytwarzać jednocześnie i ładować oddzielnie, jak też w sposób kontrolowany mieszać ze sobą w dowolnych proporcjach przed załadunkiem do otworu strzałowego [7].

5. Zawartość toksycznych gazów w produktach wybuchu

Bardzo ważnym parametrem z punktu widzenia bezpieczeństwa stosowania i ekologii jest zawartość szkodliwych składników w produktach wybuchu. Podstawowym czynnikiem decydującym o składzie gazów postrzałowych generowanych w wyniku detonacji środków strzałowych jest bilans tlenowy mieszaniny. Prowadzono badania analizujące wpływ otoczki, porowatości granulek saletry amonowej, zawartości wody oraz aluminium na ilość toksycznych gazów po detonacji różnych środków strzałowych. W pracy [32] przedstawiono wyniki badań nad zawartością szkodliwych gazów w produktach wybuchu heavy-ANFO o zawartości 30% i 50% emulsji. Udowodniono, że wzrost zawartości wody w wymienionych środkach strzałowych przyczynia się zdecydowanie do zwiększenia ilości i tlenku węgla i tlenków azotu w gazach postrzałowych.

Aluminium płatkowane zmniejsza ilość toksycznych gazów w produktach detonacji. Zmiana zawartości z 3,64% do 12,12% w ANFO skutkuje nawet dwukrotnym spadkiem zawartości szkodliwych składników w gazach powybuchowych [33]. Ponadto operując jego zawartością w MW można kontrolować parametry

wybuchowe MW w zależności od żądanego mechanicznego oddziaływania na urobek oraz w zależności od rodzaju urabianych mas skalnych. Aluminium zmniejsza średnicę krytyczną ładunków oraz zwiększa ciepło wybuchu, mając tym samym wpływ na zdolność materiału do wykonania pracy [34].

6. Możliwe modyfikacje heavy-ANFO

Heavy-ANFO jest powszechnie stosowanym środkiem strzałowym o dobrym stosunku ceny do jakości. Jednak ze względu na swój skład chemiczny, należy go chronić przed kontaktem ze skałami reaktywnymi, gdyż dojść może do niekontrolowanych wybuchów. Jednak już niewielki dodatek mocznika umożliwia stosowanie go w kopalniach ze skałami pirytycznymi [35].

Dotychczas rozpatrywano użycie heavy-ANFO przez przyzmat prac w przemyśle wydobywczym. Nie jest to jednak jedyne możliwe zastosowanie tego typu materiałów. Z powodzeniem można je również stosować w inżynierii materiałowej do wybuchowego łączenia metali. W tym wypadku pożądana jest prędkość detonacji w zakresie (2000 ÷ 3000) m s⁻¹. Aby obniżyć parametry detonacyjne heavy-ANFO, proponowane są dwa rozwiązania:

1. Dodatek substancji inercyjnych zwiększających gęstość materiału, a obniżających prędkość detonacji poprzez absorpcję części energii wybuchu (mielona saletra amonowa, aluminium, tlenek glinu).
2. Dodatek substancji zmniejszającej gęstość materiału, zmniejszając tym samym ilość energii w jednostce objętości (mikrobalony) [36].

7. Podsumowanie

Z powodu nacisków ekonomicznych coraz szerzej stosuje się mieszaniny typu ANFO i MWE, tzn. heavy-ANFO. Są materiałami łączącymi większość zalet saletroli oraz MWE. Ich główne zalety to duża ilość gazów postrzałowych, zadowalająca wodoodporność, przystępna cena, bezpieczeństwo, mała ilość składników toksycznych w gazach postrzałowych oraz możliwość regulacji parametrów fizykochemicznych. Wadą tych materiałów jest ich niska czułość wymuszająca stosowanie silnych ładunków udarowych oraz relatywnie mała gęstość.

Szeroka gama produktów handlowych oraz możliwości tworzenia z nich mieszanin w dowolnych praktycznie proporcjach umożliwia zaprojektowanie i użycie odpowiedniego materiału dostosowanego do wytrzymałości górotworu oraz stopnia zawodnienia.

Literatura

- [1] Wang X., *Emulsion Explosives*. Metallurgical Industry Press, Beijing 1994.
- [2] Cook M. A., Farnam H.E., pat. USA 2930685, 1960.
- [3] Egly J., Patent USA 3161551, 1964.
- [4] Bluhm F., Patent USA 3447978, 1969.
- [5] Clay R.B., Patent USA 4111727, 1978.
- [6] Maranda A., *Przemysłowe materiały wybuchowe*. Wyd. Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2010.
- [7] Maranda A., Gołąbek B., Kasperski J., *Materiały wybuchowe emulsyjne*. Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa 2008.
- [8] Frost D.I., Zhang F., *Slurry Detonation*, in *Heterogeneous Detonation*. Springer, ch. 3, pp. 169-216. Berlin.
- [9] Buczkowski D., Zygmunt B., *Detonation Properties of Mixtures of Ammonium Nitrate Based Fertilizers and Fuels*. Central European Journal of Energetic Materials, vol. 8, no. 2, pp. 99-106, 2011.
- [10] Sinditskii V.P., Egorshy V.Y., Levshenkov A.I., Serushkin V.V., *Ammonium Nitrate: Combustion Mechanism and the Role of Additives*. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, vol. 30, no. 4, pp. 269-280, 2005.

- [11] Waldock K., Patent USA 8568543, 2013.
- [12] Legario R.R., Aplikacja patentowa USA 2005/0067075.
- [13] Twomey A., Aplikacja patentowa USA 2013/0327454.
- [14] Atadam E., Patent USA 3522117, 1970.
- [15] Verity D.G., Aplikacja patentowa USA 2010/0218861.
- [16] Waldock K.H., Aplikacja patentowa USA 2011/0209804.
- [17] Fedorov, A.B., Aplikacja patentowa USA 2013/0140871.
- [18] Alexander B.D., Aplikacja patentowa USA 2013/0247789.
- [19] Zygmunt B., Buczkowski D., *Influence of Ammonium Nitrate Prills' Properties on Detonation Velocity of ANFO*. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, vol. 32, no. 5, pp. 411-414, 2007.
- [20] Kuzmin V., Kozak G., Mikheev D., *Detonability of Ammonium Nitrate and Mixtures on Its Base*. Central European Journal of Energetic Materials, vol. 7, no. 4, pp. 335-343, 2010.
- [21] Maranda A., Szymański R., *Tests on Critical Diameter and Detonation Velocity of Mixtures of Ammonium Nitrate(V) and Selected Organic Substances*. Chemik, vol. 67, no. 1, pp. 13-18, 2013.
- [22] Clark Souers P., Vitello P., *The Effects of Containment on Detonation Velocity*. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, vol. 29, no. 1, pp. 19-26, 2004.
- [23] Esen S., *A Statistical Approach to Predict the Effect of Confinement on Detonation Velocity of Commercial Explosives*. Rock Mechanics and Rock Engineering, vol. 37, no. 4, pp. 317-330, 2004.
- [24] Mader C.L., *Numerical Modeling of Detonation*. Berkeley - Los Angeles - London, 1979.
- [25] Bhandari S., *Engineering Rock Blasting Operations*. Rotterdam: A.A. Baklema, 1997.
- [26] Harris J., Patent USA 4637849, 1987.
- [27] Schorck G.L., Rainbird M., *Waterproof oxidizing salt/emulsion blend explosives*. WO/1997/042141, 1997.
- [28] Morawa R., Machowicz M.Z., *Metody zwiększania wodoodporności materiałów wybuchowych typu ANFO*. Konferencja Technika Strzelnicza w Górnictwie, Jaszowiec, 2001.
- [29] Lownds C.M., Patent USA 5409556, 1995.
- [30] Freeder B.G.P., Wharton R.K., Train A.W., *Changes in the Mechanical Sensitiveness of Explosives as a Result of Previous Exposure to Elevated Temperatures*. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, vol. 24, pp. 232-236, 1999.
- [31] Dobrivolic M., Bohanek V., Zganec S., *Influence of Explosive Charge Temperature on Velocity of Detonation of ANFO Explosives*, Central European Journal of Energetic Materials, vol.11, no. 2, pp. 191-198, 2014.
- [32] Rowland J.H., Mainiero R., *Factors Affecting Fumes Poduction of an Emulsion and ANFO/Emulsion Blends*. <http://www.cdc.gov/niosh/mining/UserFiles/works/pdfs/fafpo.pdf> (strona dostępna 01.02.2014).
- [33] Maranda A., Paszula J., Zawadzka-Małota I., Kuczyńska B., *Aluminium Powder Influence on ANFO Detonations Parameters*. Central European Journal of Energetic Materials, vol. 8, no. 4, pp. 279-292, 2011.
- [34] Zygmunt B., *Detonation Parameters of Mixtures Containing Ammonium Nitrate and Aluminium*. Central European Journal of Energetic Materials, vol. 6, no. 1, pp. 57-66, 2009.
- [35] Mason C., Patent USA 3708356, 1973.
- [36] Sil'vestrov V.V., Plastinin A.V., *Investigation of Low Detonation Velocity Emulsion Explosives*. Combustion, Explosion and Shock Waves, vol. 45, no. 5, pp. 618-626, 2009.